النوى ،الكتلة و الطاقة

I التكافؤ " كتلة- طاقة "

1) علاقة أينشتاين:

أثبتت الميكانيك النسبوية الخاصة التي أنشأها ألبيرت أينشتاين سنة 1905م أن هناك تكافؤا بين الكتلة والطاقة(أي أن الكتلة تعتبر شكلا من أشكال الطاقة)، بحيث أن كل مجموعة مادية كتلتها m تمتلك طاقة E تسمى الطاقة الكتلية وهي تساوي حاصل ضرب الكتلة ومربع سرعة انتشار الضوء في الفراغ .

$E = mc^2$ تسمى بعلاقة أينشتاين $c = 3\times10^8 m/s$

(E بـ J ، m بـ Kg)

ووحدة الطاقة الكتلية في الفيزياء النووية هي الإلكترون– فولط (eV) الذي تربطه بالجول العلاقة التالية: $1eV = 1,6\times10^{-19} J$.

ومن مضاعفاته الميغا إلكترون فولط $1MeV = 10^6 eV = 1,6\times10^{-13} J$

وتبين هذه العلاقة أن كل تغير لكتلة مجموعة ما بالمقدار Δm يوافقه تغير للطاقة الكتلية لهذه المجموعة بالمقدار $\Delta E = \Delta m.c^2$

2) وحدة الكتلة الذرية:

نظرا لكون كتل النوى والدقائق صغيرة جدا ، يـعبر عنها في الفيزياء النووية بوحدة ملائمة تسمى ب: وحدة الكتلة الذرية

أي : **Unité de masse atomique** u.m.a. والتي يرمز إليها بu فقط من أجل التبسيط.

ووحدة الكتلة الذرية تساوي $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكربون $^{12}_{6}C$ أي: **1u يساوي $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكربون 12**

(الكتلة المولية ل: $^{12}_{6}C$ تساوي $12g/mol$)

وبذلك تكون كتلة مول واحد من ذرات الكربون تساوي 12 g ، ويحتوي 1المول على $N_A=6,02.10^{23}$ ذرة.

أي: $1.u = \frac{m(^{12}_{6}C)}{12} = \frac{12g}{12.N_A} = \frac{12\times10^{-3}Kg}{12\times6,02\times10^{23}} = 1,66\times10^{-27} Kg$

وبالتالي : $1u = 1,66\times10^{-27} Kg$

كما نستعمل كوحدة للكتلة في الفيزياء النووية الوحدة التالية : eV/c^2

لأن لدينا من خلال علاقة أينشتاين السابقة : $m = \frac{E}{c^2}$ عند التعبير عن الطاقة ب eV

فإن وحدة الكتلة هي eV/c^2

$$1MeV/c^2 = \frac{1,6\times10^{-13} J}{(3\times10^8)^2 m^2/s^2} = 1,78\times10^{-30} Kg = \frac{1,78\times10^{-30}u}{1,66\times10^{-27}} \approx 1,073\times10^{-3}u$$

ومنه : $1u \approx 931,5 MeV/c^2$

لنتحقق من تجانس الوحدات في العلاقة السابقة : $\frac{J}{m^2/s^2} = \frac{N\times m}{m^2\times s^{-2}} = \frac{Kg\times m.s^{-2}\times m}{m^2\times s^{-2}} = Kg$

وهكذا في الفيزياء النووية نستعمل كوحدة للكتلة إما: ال: u أو ال: MeV/c^2

II طاقة الربط للنواة:

1) النقص الكتلي:

بينت قياسات دقيقة أنجزت بواسطة مطياف الكتلة بالنسبة لنواة $^A_Z X$ أن كتلة النواة ، مرتبطة ، تكون دائما أصغر من كتل الدقائق المكونة لها (غير مرتبطة) ويسمى هذا الفرق بالنقص الكتلي . $(Le.défaut.de.masse)$

نسمي النقص الكتلي Δm لنواة ${}_{Z}^{A}X$ الفرق بين مجموع كتل النويات وكتلة النواة :

$$\Delta m = Zm_p + (A-Z)m_n - m({}_{Z}^{A}X)$$

وهو مقدار موجب.

2) طاقة الربط:

طاقة الربط E_ℓ لنواة ${}_{Z}^{A}X$ هي الطاقة التي يجب إعطاؤها للنواة في حالة سكون لفصل نوياها وتبقى في حالة سكون.

وتعطيها العلاقة التالية: $E_\ell = \Delta m.c^2 = \left[Z.m_p + (A-N)m_n - m({}_{Z}^{A}X)\right]c^2$

3) طاقة الربط بالنسبة لنوية:

نستعمل أحيانا **طاقة الربط بالنسبة لنوية** وتعطيها العلاقة التالية : $\xi = \frac{E_\ell}{A}$ حيث : E_ℓ هي طاقة الربط للنواة و A عدد النويات.

ووحدها : $MeV / nucléon$.

كلما كانت طاقة الربط بالنسبة لنوية كبيرة كلما كانت النواة أكثر استقرارا.

4) تطبيق:

علما أن كتلةنواة الأورانيوم ${}_{92}^{238}U$ هي $m({}_{92}^{238}U) = 238,003u$، كتلة البروتون : $m_p = 1,0073u$ و كتلة النوترون $m_n = 1,0087u$.

أ) احسب طاقة الربط لنواة الأورانيوم ${}_{92}^{238}U$.

ب) احسب طاقة الربط بالنسبة لنوية لنواة الاورانيوم ${}_{92}^{238}U$.

نعطي: $1u = 931,5MeV / c^2$

أ) لدينا :

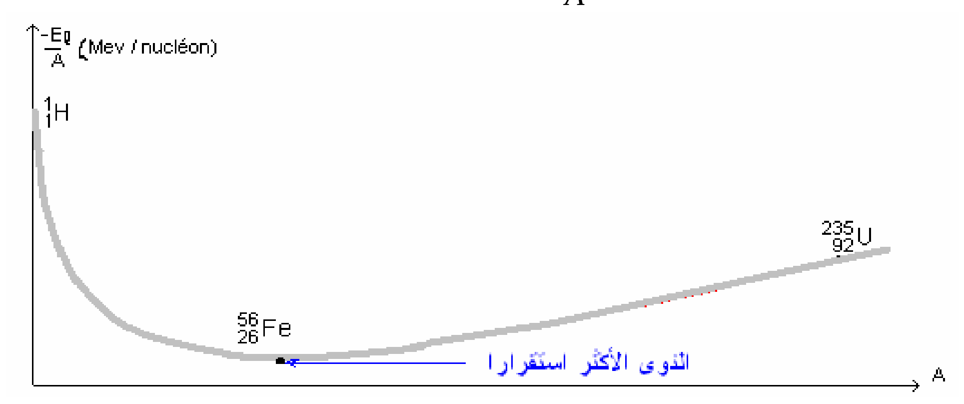
$$E_\ell = \Delta m.c^2 = \left[Z.m_p + (A-N)m_n - m({}_{92}^{238}U)\right]c^2 = [92\times 1,0073 + (238-92)\times 1,0087 - 238,0003]u\times c^2 =$$

$$......... = 1,9415u\times c^2 = (1,945\times 931,5MeV / c^2)\times c^2 = 1808,5MeV$$

ب) $\xi = \frac{E_\ell}{A} = \frac{1808,5}{138} \approx 7,59MeV / nucléon$

5) منحنى أسطون :

لمقارنة استقرار النوى ، نخط المنحنى الممثل لتغيرات $-\frac{E_\ell}{A}$ بدلالة عدد النويات . يسمى هذا المنحنى : **منحنى أسطون** .



النوى الأكثر إستقرارا توجد في أسفل المنحنى ، بينما الغير مستقرة إذا كانت ثقيلة فهي نتشطر وإذا كانت خفيفة فهي تندمج وبذلك تتحول إلى نوى أكثر إستقرارا.

6) الحصيلة الطاقية لتفاعل نووي:

أ) تعميم :

نعتبر تفاعلا نوويا معادلته :

$${}_{Z_1}^{A_1}X_1 + {}_{Z_2}^{A_2}X_2 \rightarrow {}_{Z_1}^{A_1}Y_1 + {}_{Z_2}^{A_2}Y_2$$

تكتب الحصيلة الطاقية المقرونة بهذا التفاعل كما يلي: $\Delta E = [E_\ell(X_1)+E_\ell(X_2)-E_\ell(Y_1)-E_\ell(Y_2)]$

$$\Delta E = \Delta m \times c^2 = [\Sigma m(\text{نواتج}) - \Sigma m(\text{متفاعلات})]\times c^2$$

$$\Delta E = [m_{(Y_1)} + m_{(Y_2)} - m_{(X_1)} - m_{(X_2)}]\times c^2$$

2) الحصيلة الطاقية للتحولات النووية التلقائية:

* الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي α:

معادلة التفتت α : $^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}Y + ^{4}_{2}He$

الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي α هي:

$$E=[m_{(^{A-4}_{Z-2}Y)} + m_{(^{4}_{2}He)} - m_{(^{A}_{Z}X)}]\times c^2$$ وهي سالبة

* الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي β^-:

معادلة التفتت β^- : $^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A}_{Z+1}Y + ^{0}_{-1}e$

الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي β^- هي:

$$E=[m_{(^{A}_{Z+1}Y)} + m_{(^{0}_{-1}e)} - m_{(^{A}_{Z}X)}]\times c^2$$ وهي سالبة

* الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي β^+:

معادلة التفتت β^+ : $^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A}_{Z-1}Y + ^{0}_{+1}e$

الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي β^+ هي:

$$E=[m_{(^{A}_{Z-1}Y)} + m_{(^{0}_{1}e)} - m_{(^{A}_{Z}X)}]\times c^2$$ وهي سالبة

III) التأثيرات البيولوجية للنشاط الإشعاعي:

تؤثر الإشعاعات النووية على جسم الإنسان بكيفية متفاوتة.

الدقائق الفا α: تتكون دقيقة ألفا من نواة الهيليوم $^{4}_{2}He$ التي تحتوي على بروتونين و نيترونين و لها شحنة ثنائية موجبة $q=+2e=+2\times1,6\times10^{-19}c$ و تبلغ سرعة دقائق ألفا حين انطلاقها من المادة المشعةالمشعة $1/10$ سرعة الضوء و لكن كبر حجمها النسبي و شحنتها الموجبة يجعلان قدرتها على الاختراق منخفضة فلا تستطيع أن تخترق الجزيئات الأولى في جلد الانسان أو في صفحة كتاب .

الدقائق بيتا β^-: هي الاكترونات $^{0}_{-1}e$ لها طاقة عالية تنتقل بسرعة عالية تزيد على $16000 km/s$ و نتيجة لسرعتها العالية و حجمها الصغير فان للدقائق بيتا قوة اختراق أعلى من قوة اختراق الدقائق ألفا. فهي تستطيع أن تخترق جسم الانسان الى مسافة صغيرة و تسبب عندئذ الحروق . تستعمل في معالجة الخلايا السرطانية.

الأشعة غاما γ هي مثل أشعة X موجات كهرومغناطيسية (ليست بدقائق) سرعتها هي سرعة انتشارالضوء فهي ذات قوة اختراق عالية ونافذة بشكل كبير ، لأيقافها يلزم عدة سنتيمترات من الرصاص ، وتستعمل في تشخيص الأمراض بالصور.و نظرا لأن أشعة غاما لا تملك شحنة و لا كتلة فان انطلاقها لا يغير العدد الكتلي أو العدد الذري للذرة.

7) تطبيق:

نعتبر التحولات التالية:

(1) $^{226}_{88}Ra \rightarrow ^{222}_{86}Rn + ^{4}_{2}He$

(2) $^{60}_{27}Co \rightarrow ^{60}_{28}Ni + ^{0}_{-1}e$

(3) $^{13}_{7}N \rightarrow ^{13}_{6}C + ^{0}_{1}e$

نعطي : $m(^{226}_{88}Ra) = 225,9770u$ ، $m(^{222}_{86}Rn) = 221,9702u$ ، $m(^{4}_{2}He) = 4,0015u$

$m(^{60}_{28}Co) = 59,9190u$ ، $m(^{60}_{28}Ni) = 59,915u$ ، $m(e) = 5,49\times10^{-4}u$

$m(^{13}_{7}N) = 13,001898u$ ، $m(^{13}_{6}C) = 13,000062u$.

أ) احسب تغير الكتلة المصاحب لكل تحول نووي .

ب) احسب طاقة كل تحول من التحولات السابقة.

نعطي: $1u = 931,5MeV/c^2$

أ) بالنسبة للتحول الاول $^{226}_{88}Ra \rightarrow ^{222}_{86}Rn + ^{4}_{2}He$: $\Delta m_1 = m(Rn) + m(He) - m(Ra) = -5,3\times10^{-3}u \approx -4,94Mev/c^2$

بالنسبة للتحول الثاني $^{60}_{27}Co \rightarrow ^{60}_{28}Ni + ^{0}_{-1}e$: $\Delta m_2 = m(Ni) + m(e) - m(Co) = -3,45\times10^{-3}u \approx -3,21Mev/c^2$

بالنسبة للتحول الثالث $^{13}_{7}N \rightarrow ^{13}_{6}C + ^{0}_{1}e$: $\Delta m_3 = m(C) + m(e) - m(N) = -1,287\times10^{-3}u \approx -1,2Mev/c^2$

ب) الطاقة المتحررة خلال التحول الأول:- $E_1 = \Delta m_1 \times c^2 = (-4,94MeV/c^2)\times c^2 = -4,94MeV$

الطاقة المتحررة خلال التحول الثاني:- $E_2 = \Delta m_2 \times c^2 = (-3,21MeV/c^2)\times c^2 = -3,21MeV$

الطاقة المتحررة خلال التحول الثالث:- $E_3 = \Delta m_3 \times c^2 = (-1,2MeV/c^2)\times c^2 = -1,2MeV$

sbiabdou@yahoo.fr